

基于基尼系数的内陆河流域用水公平性评价

——以石羊河流域为例

李建芳¹, 栗晓玲¹, 王素芬²

(1 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2 中国农业大学 农业水问题研究中心, 北京 100083)

【摘要】 【目的】对水资源紧缺地区的用水公平性进行研究, 为了解当地用水现状进而合理配置水资源提供参考。【方法】借鉴收入公平性评价指标基尼系数的基本概念, 构建内陆河流域用水公平性的评价方法, 即通过影响用水量的人口、国内生产总值、参考作物蒸发蒸腾量、降水量等主要指标, 计算单项指标与用水量的基尼系数, 并计算综合基尼系数, 进而以石羊河流域为例, 对其用水公平性进行了评价。【结果】利用本研究建立的评价方法, 对石羊河流域用水公平性的评价表明, 石羊河流域在现状超采地下水的情况下, 代内用水较为公平, 但代际用水并不公平。【结论】可以利用基尼系数客观地评价区域间社会经济用水的公平性。

【关键词】 用水公平性; 水资源配置; 石羊河流域; 基尼系数

【中图分类号】 TV213.9

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2010)08-0217-06

Evaluating the fairness of water use based on the

Gini coefficient in inland river basins

——A case study on Shiyang River basin

LI Jian-fang¹, SU Xiao-ling¹, WANG Su-fen²

(1 College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 Center for Agricultural Water Research in China, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: 【Objective】 Study on the fairness of water use in water deficient areas can provide reference for identifying the status of water use and allocating water resources reasonably. 【Method】 According to the concept of Gini coefficient, an index for estimating equity of income, a method for evaluating the fairness of water use in inland river basins was established. Through the key indicators of water use, such as the population, GDP, precipitation, reference crop evapotranspiration (ET_0), the Gini coefficient for each indicator and comprehensive Gini coefficient were calculated, then the method was applied to Shiyang River basin. 【Result】 The result showed that in the case of the status of over-extraction of groundwater, the water use in Shiyang River basin was intra-generational fair, but the intergenerational use of water was not. 【Conclusion】 The Gini coefficient can objectively evaluate the fairness of socio-economic water use in different regions.

Key words: fairness of water use; water allocation; Shiyang River basin; Gini coefficient

根据可持续性标准, 公平可看作是均衡、平等和 需求的加权组合, 包括代内公平和代际公平两部分

* [收稿日期] 2010-01-27

[基金项目] 国家自然科学基金项目(50879071); 水利部公益性行业科研专项(200801104); 国家“863”计划项目(2006AA100217); 西北农林科技大学青年学术骨干支持计划项目

[作者简介] 李建芳(1987—), 女, 山西原平人, 在读硕士, 主要从事水资源合理配置研究。E-mail: ljfand016@163.com

[通信作者] 栗晓玲(1968—), 女, 四川开江人, 教授, 博士, 主要从事水资源规划与管理研究。E-mail: suxiaoling17@126.com

内容^[1]。“代内公平”是可持续发展原则的一个重要内容,其是指同一代人,不论国籍、种族、性别、经济水平和文化差异,在要求良好生活环境和利用自然资源方面,都享有平等的权利。“代际公平”是指当代人和后代人在利用自然资源、满足自身利益、谋求生存与发展上权利均等。用水公平性是以满足不同区域间和区域内社会各阶层的所有用水部门对水资源及其利用效益的合理分配为目标,既体现为一种权利,也体现为一种义务,是水资源合理配置的根本保证^[2]。

我国水权、水市场的研究起步较晚,对用水公平性评价方法及指标体系尚缺乏系统的研究。目前的研究多采用某一个特定的指标,如贾绍凤等^[3]基于人口比例对安全饮水保障的研究及刘喜峰等^[4]提出的公平权重等。Mimi 等^[5]根据国际水法所规定的原则,构建了 9 项指标体系,利用多准则的加权平均决策方法,在约旦河流域实现了国家之间水资源的公平分配,但由于区域差异,这些指标确定的客观性较差。刘德地等^[6]选取人口、GDP、水资源量等指标,用基尼系数法评价了广东省各市用水量的公平性,结果表明基尼系数在用水公平性评价方面可以取得很好的效果,但该研究选取的指标不够全面,且未考虑影响用水量的潜在蒸发能力。对于内陆河流域而言,降水量和潜在蒸发能力分布的空间变异大,潜在蒸发能力对用水量影响较大,因而其是一个必须考虑的指标。

基尼系数(Gini coefficient)是意大利经济学家基尼(Corrado Gini, 1884—1965 年)于 1912 年提出的,一般常用其衡量收入分配的差异状况,也可用来衡量消费、财富或其他任何种类指标的分布状况^[7]。实际上,就基尼系数的工具性而言,分布均匀度的量化评价功能是其实质。因此,除了可用于经济学社会财富分配平等状况的评价外,还可以运用在其他学科有关分布公平性评价的各个方面。因此,有关学者对基尼系数在其他领域的运用进行了积极探索,如在用水公平性评价^[6]、区域水土资源匹配^[8]、降水时间分布均匀度^[9]、大气污染物总量分配公平性^[10]等方面已得到成功的应用。

本研究选取影响用水量的人口、国内生产总值(GDP)、参考作物蒸发蒸腾量(ET_0)、降水量 4 项指标,以石羊河流域近年来的用水量为评价对象,分别计算 4 项指标与用水量的基尼系数,并绘制洛伦兹曲线,最后计算出综合基尼系数,进而对石羊河流域的用水公平性进行了评价,以期为内陆河流域水资

源的合理配置提供参考。

1 用水量变化的影响因素

影响一个区域用水量大小的因素一般有以下几个方面:

(1)社会因素。包括人口数量、人口自然增长率、城市化率等。

(2)自然因素。包括耕地面积、水资源量、参考作物蒸发蒸腾量、降水量、日照时数、湿度等。

(3)经济发展因素。包括 GDP、人均 GDP 等。

(4)生态环境因素。包括林草地面积、废水排放达标率、资源优化率等。

从影响用水量的社会、自然、经济发展等因素出发,考虑因素的量化和数据的可获得性,本研究选取人口、国内生产总值(GDP)、参考作物蒸发蒸腾量(ET_0)、降水量等作为用水量公平性的评估指标。人口一用水量的基尼系数可以反映不同区域人均用水量的差异;GDP一用水量的基尼系数反映了不同区域单位 GDP 用水量的差异及工农业生产的用水效率; ET_0 是参考作物在供水充足条件下的需水量,表示一个地区潜在的蒸发能力,是确定农业用水量的重要因素, ET_0 一用水量的基尼系数间接地反映了区域农田需水量与用水量的匹配关系;降水量的多少在一定程度上决定一个地区自产水量的多少,降水量一用水量的基尼系数反映了用水量分配与降水量分布的匹配程度。

2 方法与资料

2.1 研究方法

2.1.1 基尼系数的内涵与用水公平性划分标准

基尼系数是根据洛伦兹曲线(图 1)计算得来的。设实际收入分配曲线和收入分配绝对平等曲线之间的面积为 A ,实际收入分配曲线右下方的面积为 B ,并以 A 除以 $(A+B)$ 的商表示不平等程度,这个数值被称为基尼系数或称洛伦兹系数。如果 A 为零,则基尼系数为零,表示收入分配完全平等;如果 B 为零,则基尼系数为 1,表示收入分配绝对不平等。收入分配越是趋向平等,洛伦兹曲线的弧度越小,基尼系数也越小;反之,收入分配越是趋向不平等,洛伦兹曲线的弧度越大,基尼系数也越大。

按照国际惯例,通常把 0.4 作为收入分配贫富差距的“警戒线”。基尼系数在 0.2 以下,表示社会收入分配“高度平均”或“绝对平均”;基尼系数为 0.2~0.3 表示收入分配“相对平均”;基尼系数为

0.3~0.4 表示收入分配“比较合理”;基尼系数为 0.4~0.5 表示收入分配“差距偏大”;基尼系数高于 0.5 表示收入分配“高度不平均”^[11]。本研究按此标准评价石羊河流域用水的公平性。

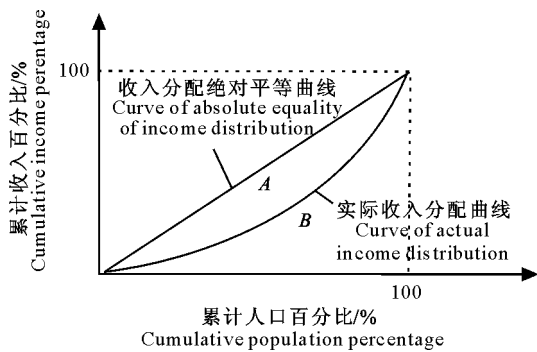


图 1 洛伦兹曲线

Fig.1 Lorenz curve

2.1.2 单项指标基尼系数的计算 基尼系数有多种求算方法,如不依赖于洛伦兹曲线的直接算法、面积法、拟合曲线法等,面积法又包括上梯形面积法、下梯形面积法、矩形面积法等^[12]。本研究采用下梯形面积法^[6],将洛伦兹曲线下方的面积近似为若干梯形进行计算,其公式如下:

$$Gini = 1 - \sum_{i=1}^n (X_i - X_{i-1})(Y_i + Y_{i-1}) \quad (1)$$

式中: X_i 为人口、GDP、 ET_0 、降水量等评估指标的累计百分比,%; Y_i 为用水量的累计百分比,%; i 为分配对象,且当 $i=1$ 时, (X_{i-1}, Y_{i-1}) 视为 $(0, 0)$ 。

2.1.3 综合基尼系数的计算 若综合考虑不同指标对用水公平性影响的重要性,可采用如下公式计算用水量的综合基尼系数 CG ,即:

$$CG = \sum_{k=1}^m \lambda_k Gini_k \quad (2)$$

式中: λ_k 为第 k 个指标的权重系数,即分别表示 k 个不同指标对用水量分配公平性影响的重要程度,且 $\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_m = 1$; $Gini_k$ 为第 k 个指标的基尼系数。其中各单项指标的权重可采用专家咨询法、熵权法确定。由于熵权法确定权重的客观合理性,其已在工程技术、社会经济、环境科学等领域得到了广泛的应用^[13],本研究亦选择熵权法计算各指标的权重。熵权越大,表明相应评价指标的信息量越有效,该评价指标越重要;反之,熵权越小,表明该指标越不重要。熵权体现了客观信息中所选择指标评价作用的大小,是客观权重。

2.2 资料来源

本研究以石羊河流域为例进行用水公平性评

价。石羊河发源于祁连山,是中国河西走廊三大内陆河流之一,位于甘肃省河西走廊东部,祁连山东段与巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠南缘之间。石羊河流域行政区划包括武威市的古浪县、凉州区、民勤县全部及天祝县部分区域,还包括金昌市的永昌县及金川区全部,以及张掖市肃南裕固族自治县、山丹县、白银市景泰县的部分地区,流域共涉及 4 市 9 县。由于张掖市肃南裕固族自治县、山丹县和白银市景泰县在石羊河流域中的面积很小,计算时可以忽略不计,同时将天祝县全部计算在内。因此本研究只考虑金昌市、凉州区、民勤县、古浪县、天祝县,选取其 2000、2002、2005—2007 年各区域的用水量作为评价对象。

研究区用水量资料来源于《甘肃水利统计年鉴》、《甘肃水利发展统计公报》、《武威市水利基本建设、农田水利、农村小水电综合年报》;人口和 GDP 资料来源于甘肃经济信息网; ET_0 资料直接引用已有成果^[14];降水量资料来自各个气象站的观测值。其中金昌市的 ET_0 和降水量由金川区和永昌县的相应值经过面积加权平均得到,金昌市总面积 8 896 km²,其中永昌县 5 877 km²,金川区 3 019 km²,由于缺乏金川区的气象资料,经过分析可知金川区的气候、下垫面等条件与民勤县相似,在此直接移用民勤县的资料。

3 计算与分析

3.1 单项指标基尼系数的计算与分析

求出用水量与各指标的比值,再以此比值大小按升序排列,然后计算出各指标的累计值和累计百分比、用水量的累计值和累计百分比,绘制洛伦兹曲线,并按公式(1)计算基尼系数。2007 年的人口一用水量基尼系数计算结果如表 1 所示,其他指标的基尼系数计算方法与此类同。2007 年各指标和用水量的洛伦兹曲线见图 2~5,所得各年份各指标的基尼系数如表 2 所示。

由表 2 可见,不同年份石羊河流域人口一用水量的基尼系数均为 0.2~0.3,处于相对平均的区间,说明流域内各区域人均用水量较为一致,基于人口的用水量相对平均;GDP一用水量的基尼系数在 0.3 附近,说明流域内各区域用水量 and 经济发展基本协调,基于 GDP 的用水量比较公平与合理; ET_0 一用水量的基尼系数为 0.3~0.4,处于比较合理的区间,说明用水量和 ET_0 的分布基本协调,基于 ET_0 的用水量比较合理;降水量一用水量的基尼

系数在 0.5 以上,处于高度不平均区间,而且较上述 3 项基尼系数大得多,说明流域内各个地区的用水量分配不能较好地符合降水量的分布,基于降水量的用水量分布高度不平均。

表 1 2007 年石羊河流域人口—用水量基尼系数的计算

Table 1 Gini coefficient for population and water use of Shiyang River basin in 2007

分配对象 Distribution object	地区 Area	用水量/万 m ³ Water use	人口/ 万人 Population	比值 Ratio	累计用 水量/万 m ³ Cumulative water use	累计人口/ 万人 Cumulative population	用水量累计 百分比/% Cumulative water use percentage	人口累计 百分比/% Cumulative population percentage	基尼系数 Gini coefficient
1	古浪县 Gulang	16 540	39.32	420.65	16 540	39.32	6.337	16.578	0.223
2	天祝县 Tianzhu	10 933	21.36	511.84	27 473	60.68	10.526	25.584	
3	凉州区 Liangzhou	111 578	99.48	1 121.61	139 051	160.16	53.277	67.527	
4	金昌市 Jinchang	62 844	47.02	1 336.54	201 895	207.18	77.356	87.351	
5	民勤县 Minqin	59 100	30.00	1 970.00	260 995	237.18	100.000	100.000	

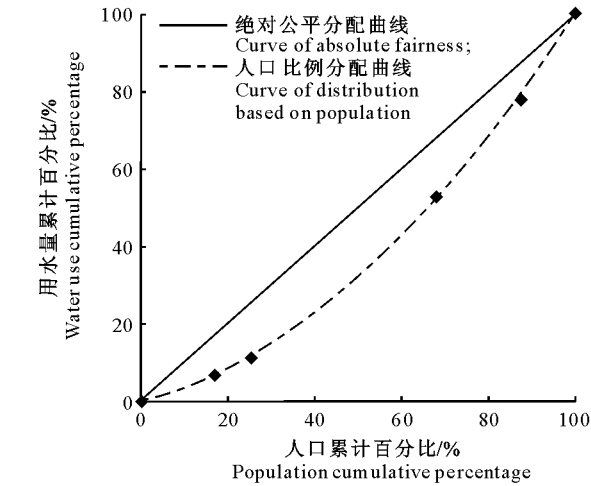


图 2 2007 年石羊河流域人口—用水量洛伦兹曲线
Fig.2 Lorenz curve for population and water use in Shiyang River basin in 2007

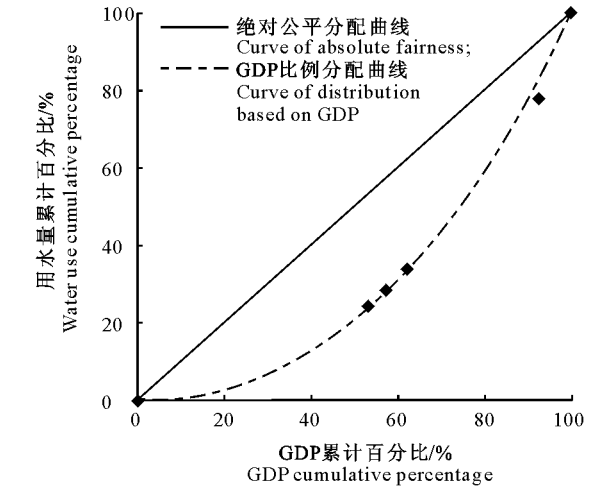


图 3 2007 年石羊河流域 GDP—用水量洛伦兹曲线
Fig.3 Lorenz curve for GDP and water use in Shiyang River basin in 2007

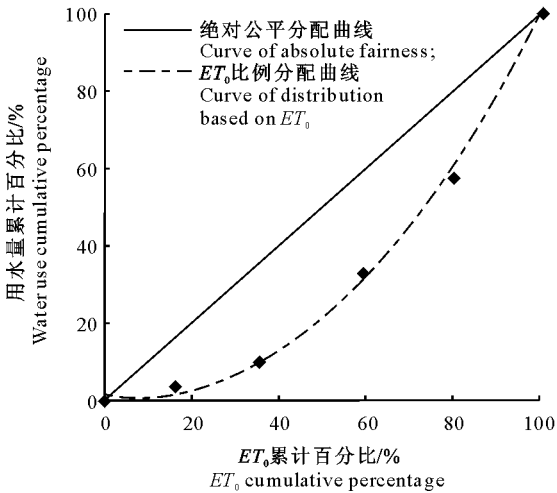


图 4 2007 年石羊河流域 ET₀—用水量洛伦兹曲线
Fig.4 Lorenz curve for ET₀ and water use in Shiyang River basin in 2007

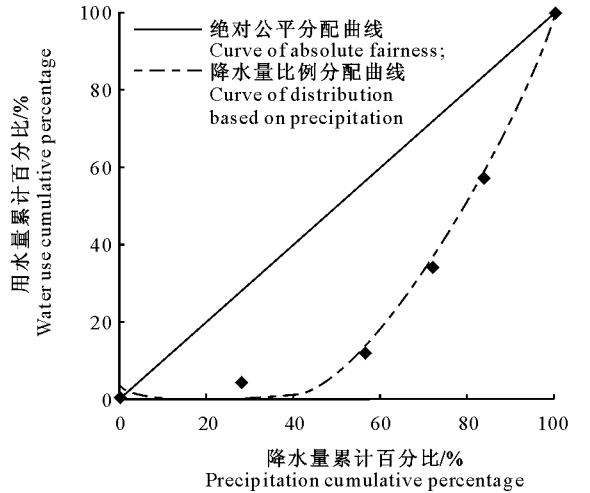


图 5 2007 年石羊河流域降水量—用水量洛伦兹曲线
Fig.5 Lorenz curve for precipitation and water use in Shiyang River basin in 2007

由表 2 还可以看出,2007 年石羊河流域人口—用水量的基尼系数为 0.223,在供试年份中最小,说明随着社会经济的发展,流域不同区域人均用水量趋于一致,用水更加公平;2007 年石羊河流域

GDP—用水量的基尼系数为 0.351,在研究年份中最大,说明流域不同区域的单位 GDP 用水量与往年相比差距增大,例如 2007 年金昌市的 GDP 为 2 132 190 万元,用水量为 62 844 万 m³,而凉州区的 GDP 为 1 262 831 万元,用水量却高达 111 578 万 m³,说明金昌市的单位 GDP 用水量较凉州区高;各年 ET_0 —用水量的基尼系数变化没有规律性,因为

表 2 石羊河流域不同年份各指标的基尼系数

Table 2 Gini coefficient of each indicator of Shiyang River basin in different years

年份 Year	人口-用水量 基尼系数 Gini coefficient for population and water use	GDP-用水量 基尼系数 Gini coefficient for GDP and water use	ET_0 -用水量 基尼系数 Gini coefficient for ET_0 and water use	降水量-用水量 基尼系数 Gini coefficient for precipitation and water use
2000	0.258	0.248	0.378	0.603
2002	0.296	0.285	0.362	0.523
2005	0.280	0.302	0.361	0.628
2006	0.250	0.310	0.390	0.555
2007	0.223	0.351	0.361	0.514

3.2 综合基尼系数的计算与分析

应用熵权法计算得人口、GDP、 ET_0 、降水量 4 个指标的权重系数分别为 0.214,0.268,0.274,0.244。说明参考作物蒸发蒸腾量(ET_0)对用水量的影响最大,其次是国内生产总值(GDP)和降水量,人口的影响最小。

综合考虑人口、GDP、 ET_0 、降水量这 4 项指标对用水量公平性影响的重要性,采用公式(2)计算综合基尼系数,结果如表 3 所示。

表 3 石羊河流域不同年份用水公平性评价的综合基尼系数

Table 3 Comprehensive Gini coefficient of Shiyang River basin in different years

年份 Year	综合基尼系数 Comprehensive Gini coefficient	公平性评价 Fairness evaluation
2000	0.372	比较合理 Relative fairness
2002	0.367	比较合理 Relative fairness
2005	0.393	比较合理 Relative fairness
2006	0.379	比较合理 Relative fairness
2007	0.366	比较合理 Relative fairness

由表 3 可知,人口、GDP、 ET_0 、降水量 4 项指标的综合基尼系数均为 0.3~0.4,属于比较合理的范围,说明综合考虑各指标,石羊河流域各区域的用水量较为公平合理。

4 讨论与建议

1)运用基尼系数对石羊河流域的用水公平性进行评价,结果表明,基尼系数可以很好地反映区域用水的公平性,这对区域的水资源配置具有理论和实际意义。

2)综合基尼系数均接近警戒线 0.4,因此石羊

同一地区不同年份的 ET_0 是随机的,但流域各个区域基于 ET_0 的用水量是比较公平的;降水量—用水量的基尼系数变化也没有规律性,而且均在 0.5 以上,说明流域降水量大的区域用水量小,降水量小的区域用水量大,如 2005 年民勤县的降水量为 97.2 mm,用水量却高达 70 641 万 m³,而天祝县的降水量为 424.5 mm,用水量只有 7 161 万 m³。

河流域应该采取措施更加合理地配置水资源。

3)对于石羊河流域,用水量中有一部分超采了地下水,据《石羊河流域近期重点规划治理》可知,2003 年全流域地下水超采总量为 5.59 亿 m³,特别是民勤县近几年来超采地下水维持在 4.0 亿 m³ 以上。本研究的用水量公平性评价结果仅反映了代内公平性问题,掩盖了实际的代际不公平性问题。若要考虑代际公平,应从总用水量中扣除超采的部分,然后再探讨用水的公平性问题。

[参考文献]

[1] Daniel P L, John S G. 水资源系统的可持续性标准 [M]. 王建龙,译. 北京:清华大学出版社,2003:58-59.
Daniel P L, John S G. The sustainability standards of water resource systems [M]. Wang J L, translated. Beijing: Tsinghua University Press, 2003:58-59. (in Chinese)

[2] 卢兴旺,孙颖,李冬梅,等. 浅析水资源合理配置 [J]. 水利科技与经济,2009,15(1):58-59.
Lu X W, Sun Y, Li D M, et al. Analysis of the rational allocation of water resources [J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2009, 15(1): 58-59. (in Chinese)

[3] 贾绍凤,张士锋,王浩. 用水合理性评价指标探讨 [J]. 水科学进展,2003,14(3):260-264.
Jia S F, Zhang S F, Wang H. Indicators for evaluating water use rationality [J]. Advances in Water Science, 2003, 14(3): 260-264. (in Chinese)

[4] 刘喜峰,谷红梅,王海潮,等. 公共水资源公平配置研究 [J]. 人民黄河,2007,29(1):43-44,49.
Liu X F, Gu H M, Wang H C, et al. Study of fair allocation of public water [J]. Yellow River, 2007, 29(1): 43-44, 49. (in Chinese)

[5] Mimi Z A, Sawalhi B I. A decision tool for allocating the waters

of the Jordan River basin between all riparian Parties [J]. Water Resources Management,2003,17(6):447-461.

[6] 刘德地,陈晓宏. 一种区域用水量公平性的评估方法 [J]. 水科学进展,2008,19(2):268-272.

Liu D D,Chen X H. Method for evaluating the fairness of water use in Guangdong Province [J]. 2008,19(2):268-272. (in Chinese)

[7] Alina J. Decomposition of the Gini index by sources of income [J]. International Advances in Economic Research, 2008, 14 (4):441-447.

[8] 吴宇哲,鲍海君. 区域基尼系数及其在区域水土资源匹配分析中的应用 [J]. 水土保持学报,2003,17(5):124-125.

Wu Y Z,Bao H J. Regional Gini coefficient and its uses in analyzing to balance between water and soil [J]. Journal of Soil and Water Conservation,2003,17(5):124-125. (in Chinese)

[9] 刘新有,史正涛,彭海英,等. 基于“基尼系数”的降水时间分布均匀度变化研究 [J]. 气象研究与应用,2007,28(2):46-48,65.

Liu X Y,Shi Z T,Peng H Y,et al. Study on precipitation temporal distribution homogeneous degree based on the Gini coefficient [J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2007,28(2):46-48,65. (in Chinese)

[10] 刘 耀,吴仁海,廖瑞雪. 大气污染物总量分配公平性评价研究 [J]. 环境科学与管理,2007,32(9):159-162.

Liu Y,Wu R H, Liao R X. Study of equity evaluation of total load allocation for atmosphere pollutants [J]. Environmental Science and Management,2007,32(9):159-162. (in Chinese)

[11] 王金南,逯元堂,周劲松,等. 基于 GDP 的中国资源环境基尼系数分析 [J]. 中国环境科学,2006,26(1):111-115.

Wang J N, Lu Y T, Zhou J S, et al. Analysis of China resource-environment Gini coefficient based on GDP [J]. China Environmental Science,2006,26(1):111-115. (in Chinese)

[12] 徐万坪. 基尼系数的算法 [J]. 统计与决策,2004(9):121-1221.

Xu W P. Gini coefficient algorithm [J]. Statistics and Decision,2004(9):121-1221. (in Chinese)

[13] 罗军刚,解建仓,阮本清. 基于熵权的水资源短缺风险模糊综合评价模型及应用 [J]. 水利学报,2008,39(9):1092-1097,1104.

Luo J G,Xie J C,Ruan B Q. Fuzzy comprehensive assessment model for water shortage risk based on entropy weight [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008, 39 (9): 1092-1097, 1104. (in Chinese)

[14] 佟 玲. 西北干旱内陆区石羊河流域农业耗水对变化环境响应的研究 [D]. 陕西 杨凌:西北农林科技大学,2007.

Tong L. Impacts of environment change on agricultural water consumption in Shiyang River basin in arid region of Northwest China [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University,2007. (in Chinese)

(上接第 216 页)

[11] 李智录,万临生,严秉良. 小流域治沟骨干工程坝系优化的研究 [J]. 水土保持学报,1991,5(4):45-52.

Li Z L,Wan L S,Yan B L. Research on the optimum planning of backbone engineering dam system in gully control of small watersheds [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1991,5(4):45-52. (in Chinese)

[12] 许光清,邹 骥. 系统动力学方法:原理、特点与最新进展 [J]. 哈尔滨工业大学学报:社会科学版,2006,8(4):72-77.

Xu G Q,Zou J. The method of system dynamics: principle, characteristics and new developmen [J]. Journal of Harbin In stitute Technology: Social Sciences Edition,2006,8(4):72-77. (in Chinese)

[13] 田永宏,郑宝明,王 熠. 黄河中游韭园沟流域坝系发展过程及拦沙作用分析 [J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1999,5(6):24-28.

Tian Y H,Zheng B M,Wang Y. Developing process and sediment control effect analysis of dam system in Jiuyuangou Valley of Middle Yellow River [J]. Journal of Soil Erosion and Soil and Water Consrvation,1999,5(6):24-28. (in Chinese)